

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10093199
PUBLICATION DATE : 10-04-98

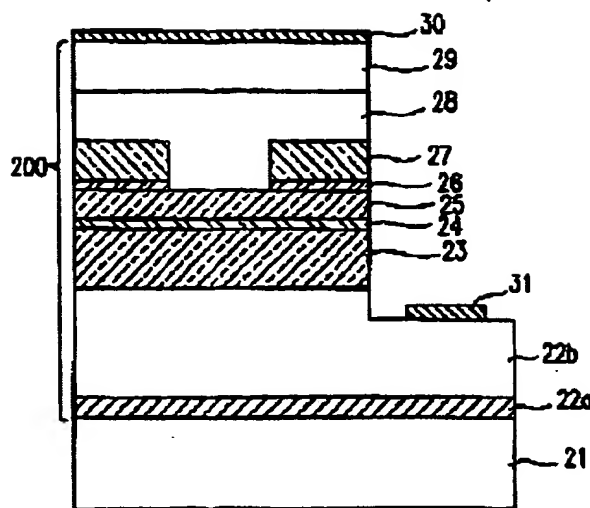
APPLICATION DATE : 23-07-97
APPLICATION NUMBER : 09197627

APPLICANT : SHARP CORP;

INVENTOR : INOGUCHI KAZUHIKO;

INT.CL. : H01S 3/18 H01L 33/00

TITLE : GALLIUM NITRIDE COMPOUND
SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING
DEVICE AND MANUFACTURE
THEREOF



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a gallium nitride semiconductor light-emitting device of an internal current construction type which has superior reliability.

SOLUTION: A gallium nitride compound semiconductor light-emitting device the a substrate 21 and a multilayer structure 200, provided on the substrate 21. The multilayer structure 200 include an active layer 24, a pair of clad layer 23, 25 between which the active layer 24 is provided, a re-evaporation layer 26 formed on the clad layer 25, which is farther from the substrate 21 among the pair of clad layers 23, 25, an internal current constriction layer 27 provided on the re-evaporation layer 26 and having an aperture for constricting a current into a selected region of the active layer 24, and re-growth layers 28, 29 with which the aperture of the internal current constriction layer 27 is filled. The re-evaporation layer 26 functions as an etching stop layer in a process of forming the aperture in the internal current constriction layer 27 and also functions as an over-saturated absorber.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-93199

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-197627

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月23日

(31) 優先権主張番号 特願平8-196707

(32) 優先日 平8(1996) 7月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 橋 俊雄

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72) 発明者 猪口 和彦

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

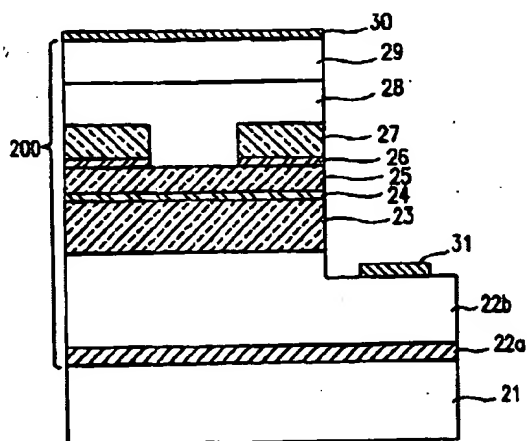
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 信頼性に優れた内部電流狭窄型の窒化ガリウム系半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 基板21と、基板21上に設けられた積層構造体200とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、この積層構造体200は、活性層24と、該活性層24を挟む一対のクラッド層23、25と、一対のクラッド層23、25のうち基板21から遠い方のクラッド層25上に形成された再蒸発層26と、再蒸発層26上に設けられ、活性層24の選択された領域に電流を狭窄するための開口部を持った内部電流狭窄層27と、内部電流狭窄層27の開口部を埋める再成長層28、29とを備えている。再蒸発層26は、内部電流狭窄層27に開口部を形成する工程でエッチストップ層として機能し、さらに過飽和吸収体として機能する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であ

って、

該積層構造体は、

活性層と、

該活性層を挟む一对のクラッド層と、

該一对のクラッド層のうち該基板から遠い方のクラッド層上に形成された再蒸発層と、

該再蒸発層上に設けられ、該活性層の選択された領域に電流を狭窄するための開口部を持った内部電流狭窄層と、

該内部電流狭窄層を覆う再成長層と、を備えており、

該再蒸発層は、該内部電流狭窄層に該開口部を形成する工程でエッチストップ層として機能する、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記クラッド層は $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) から形成され、

前記活性層は $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$, $x=0$ のとき $y > 0$) から形成され、

前記再蒸発層は $In_zGa_{1-z}N$ ($z \neq 0$) から形成され、

前記内部電流狭窄層は $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) から形成されている、請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記再蒸発層の In 混晶比 z は、前記活性層の In 混晶比 y と同一、またはそれより高く、該再蒸発層は過飽和吸収体として機能する、請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 基板と、活性層と、該活性層を挟む一对のクラッド層と、該一对のクラッド層のうち該基板から遠い方のクラッド層上に形成された再蒸発層と、該再蒸発層上に設けられ、該活性層の選択された領域に電流を狭窄するための開口部を持った内部電流狭窄層と、該内部電流狭窄層を覆う再成長層とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法であって、該基板から遠い方のクラッド層上に該再蒸発層を形成する工程と、

該再蒸発層上に該内部電流狭窄層を形成する工程と、

該内部電流狭窄層に対するエッチングレートよりも該再蒸発層に対するエッチングレートが低くなるようにして該内部電流狭窄層の一部を選択的にエッチングし、それによって該再蒸発層の表面を部分的に露出させるエッチング工程と、

該再蒸発層の露出部分を蒸発させる工程と、

該内部電流狭窄層の該開口部を埋めるように該再成長層を形成する工程と、を包含している、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項5】 前記クラッド層を $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) から形成し、

2

前記活性層を $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$, $x=0$ のとき $y > 0$) から形成し、

前記再蒸発層を $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z \leq 1$) から形成し、

前記内部電流狭窄層を $In_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) から形成する、請求項4に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項6】 前記再蒸発層の露出部分を蒸発させる工程において、 500 から $750^\circ C$ の範囲の温度で熱処理を行う請求項4に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、青色領域から紫外領域で発光可能な窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウム (GaN) は、バンドギャップが $3.4 eV$ と大きい III-V 族化合物半導体である。このため、窒化ガリウム系半導体は、青色領域から紫外光領域で発光可能な発光素子の材料として積極的に研究されている。

【0003】 図7を参照しながら、従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザを説明する。この半導体レーザは、 n 型 $3C-SiC$ 基板51上に、 n 型 GaN バッファ層52、 n 型 $AlGaIn$ クラッド層53、 GaN 活性層54と、 p 型 $AlGaIn$ クラッド層58、 n 型 GaN 内部電流阻止層57、および p 型 GaN コンタクト層59を順次積層した構造を備えている。 p 型 GaN コンタクト層59の上には p 側電極60が形成され、基板51の裏面には n 側電極61が形成されている。

【0004】 n 型 GaN 内部電流阻止層57は、エッチングによって形成されたストライプ状開口部 (ストライプ溝) を有している。 p 側電極60から n 側電極61へ流れる電流は、 n 型 GaN 内部電流阻止層57の開口部内を縦に流れるように n 型 GaN 内部電流阻止層57によって狭窄される。

【0005】 このような窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、例えば、特開平7-249820号公報に記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 窒化ガリウム系化合物半導体をエッチングする場合、選択性に優れたエッチングが行えないという問題があった。このため、上記内部電流狭窄層57にストライプ状開口部 (ストライプ溝) を形成するためのエッチングを行う場合、内部電流狭窄層57の下に位置するクラッド層58の表面までもエッチングされるおそれがあり、エッチング条件を厳しく調整しない限り、再現性のよい形状制御が実現しなかつた。

【0007】また、エッチング装置によって内部電流狭窄層57にストライプ状開口部を形成した後、その開口部を埋め込むように半導体層（クラッド層59）を再成長させるまでの間に、再成長層の下地表面（クラッド層59の表面）が大気にさらされることになる。大気に露出した半導体表面は酸化され、また、その部分に汚染物が付着する。このような露出表面上に再成長層を形成したとしても、良好な結晶品質を持った再成長界面が得られなかった。

【0008】本発明は、上記事情を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、内部電流狭窄層（内部電流阻止層）の形状が再現性良く制御され、かつ、品質の高い再成長界面を持つ、信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、該積層構造体は、活性層と、該活性層を挟む一対のクラッド層と、該一対のクラッド層のうち該基板から遠い方のクラッド層上に形成された再蒸発層と、該再蒸発層上に設けられ、該活性層の選択された領域に電流を狭窄するための開口部を持った内部電流狭窄層と、該内部電流狭窄層を覆う再成長層とを備えており、該再蒸発層は、該内部電流狭窄層に該開口部を形成する工程でエッチストップ層として機能し、そのことによって上記目的が達成される。

【0010】好ましい実施形態では、前記クラッド層は $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) から形成され、前記活性層は $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$, $x=0$ のとき $y > 0$) から形成され、前記再蒸発層は $In_zGa_{1-z}N$ ($z \neq 0$) から形成され、前記内部電流狭窄層は $Al_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) から形成されている。

【0011】好ましい実施形態では、前記再蒸発層の In 混晶比 z は、前記活性層の In 混晶比 y と同一、またはそれより高く、該再蒸発層は過飽和吸収体として機能する。

【0012】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法は、基板と、活性層と、該活性層を挟む一対のクラッド層と、該一対のクラッド層のうち該基板から遠い方のクラッド層上に形成された再蒸発層と、該再蒸発層上に設けられ、該活性層の選択された領域に電流を狭窄するための開口部を持った内部電流狭窄層と、該内部電流狭窄層を覆う再成長層とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法であって、該基板から遠い方のクラッド層上に該再蒸発層を形成する工程と、該再蒸発層上に該内部電流狭窄層を形成する工程と、該内部電流狭窄層に対するエッチングレートよりも該再蒸発層に対するエッチングレートが低くなるように

して該内部電流狭窄層の一部を選択的にエッチングし、それによって該再蒸発層の表面を部分的に露出させるエッチング工程と、該再蒸発層の露出部分を蒸発させる工程と、該内部電流狭窄層の該開口部を埋めるように再成長層を形成する工程とを包含しており、そのことにより上記目的が達成される。

【0013】好ましい実施形態では、前記クラッド層を $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) から形成し、前記活性層を $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 1$, $x=0$ のとき $y > 0$) から形成し、前記再蒸発層を $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < z \leq 1$) から形成し、前記内部電流狭窄層を $In_wGa_{1-w}N$ ($0 \leq w \leq 1$) から形成する。

【0014】好ましい実施形態では、前記再蒸発層の露出部分を蒸発させる工程において、500から750℃の範囲の温度で熱処理を行う。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、本発明を説明する。なお、本願明細書において、「窒化ガリウム系半導体」とは、窒化ガリウム (GaN) の Ga が部分的に他のIII族元素に置き換えられた半導体、例えば、 $Ga_sAl_{1-s}In_tN$ ($0 < s \leq 1$, $0 \leq t < 1$, $0 < s+t \leq 1$) を含み、各構成原子の一部がドーパント原子等に置き換えられた半導体や、他の不純物が添加された半導体をも含むものとする。

【0016】また、本明細書では、「半導体発光素子」は、発光ダイオードや半導体レーザを含む。

【0017】（実施例1）図1を参照しながら、本発明による窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第1の実施例として、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を説明する。

【0018】図1は、本実施例の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の断面を模式的に示している。この半導体レーザ素子は、図1に示されるように、 n 型 SiC 基板1と、基板1上に設けられた半導体積層構造100と、発光に必要な電流（駆動電流）を供給するための一対の電極10および11とを備えている。

【0019】以下に、半導体積層構造100の構成を詳細に説明する。

【0020】この半導体積層構造100は、基板1に近い側から順に、 n 型 GaN バッファ層（厚さ0.5～1 μm 程度）2、 n 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層（厚さ0.7～1 μm 程度）3、 p 型 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 活性層（厚さ30～800 \AA ）4、 Mg p 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層（厚さ0.1～0.3 μm 程度）5、 Mg p 型 InN 再蒸発層（厚さ30 \AA ）6、 n 型 GaN 内部電流狭窄層（厚さ0.3～0.5 μm ）7、 Mg p 型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層（厚さ0.7～1 μm 程度）8、および Mg p 型 GaN コンタクト層（厚さ0.5～1 μm ）9を含んでいる。

【0021】 n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層7は、ノンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N活性層4の選択された領域（本実施例では、共振器長方向に延びるストライプ状の領域）に電流を狭窄するための開口部を持っている。このストライプ状開口部の幅は、レーザ発振の横モードを調整するように決定される。

【0022】MgドープInN再蒸発層6のうち、 n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層7の開口部に対応する部分は製造工程中に蒸発している。このため、Mgドープ p 型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層8は、前記開口部を介して、Mgドープ p 型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層5に接触している。

【0023】Mgドープ p 型Ga_{1-x}Nコンタクト層9の上面には p 側電極10が形成され、基板1の裏面には n 側電極11が形成されている。不図示の電流供給回路から電極10および11に電圧が与えられ、半導体積層構造体100の中を p 側電極10から n 側電極11へと電流が流れる。このとき、電流は n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層7によってブロックされるので、電流は狭窄されながら n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層7の開口部を上から下へ流れる。こうして、横モードの制御されたレーザ発振が生じ、波長が青色領域から紫外領域にあるレーザ光が得られる。

【0024】以下に、図4(a)～(g)を参照しながら、図1の半導体レーザの製造方法を説明する。

【0025】なお、本実施例では、窒化ガリウム系半導体層の形成に有機金属化合物気相成長法(MOCVD法)を用いる。詳細には、V族原料としてアンモニア(NH₃)を用い、III族原料としてトリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)、またはトリメチルインジウム(TMIn)を用いる。キャリアガスとして、H₂およびN₂を用いる。 p 型ドーパントとしては、ヒスニコペンタダイエニルマグネシウム(Cp₂Mg)、 N 型ドーパントとしては、モノシラン(SiH₄)を用いる。

【0026】上記MOCVD法によって、1回目の結晶成長を行うため、 n 型SiC基板1を不図示のMOCVD装置のサセプタ上に配置した後、基板温度を1200℃程度にまで昇温することによって、基板1の表面に対して清浄化処理を施す。

【0027】次に、 n 型SiC基板1の温度を1000℃程度まで降温した後、 n 型SiC基板1の上に、 n 型Ga_{1-x}Nバッファ層（厚さ0.5～1μm程度）2、 n 型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層（厚さ0.7～1μm程度）3を成長させる。その後、基板温度を800～850℃程度に降温し、ノンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N活性層（厚さ50～800Å）4を成長させる。次に、基板温度を1000℃程度まで昇温し、MgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層（厚さ0.1～0.3μm程度）5を成長させる。基板温度を800～850℃程度に降

温した後、MgドープInN再蒸発層6を30Åの厚さに成長させる。次に、基板温度を1000℃程度まで昇温した後、 n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層（厚さ0.3～0.5μm）7を成長させる。こうして、図4(a)に示す構造が得られる。

【0028】これらの半導体層の成長は、基板1をMOCVD装置の成長室から取り出すことなく連続的に行われる。

【0029】次に、一旦、上記半導体層の積層された基板1を成長室から取り出した後、通常のフォトリソグラフィ技術（およびエッチング技術）によって、図4(b)に示すようなマスク12を n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層7上に形成する。このマスクは、SiO₂またはSiN_x（ x は1から2程度の整数）、あるいはフォトレジストから形成される。このマスク12は、ストライプ状の開口部13を有している。

【0030】次に、ドライエッチング技術によって、図4(c)に示されるように、 n 型Ga_{1-x}N内部電流狭窄層7のうち、マスク12で覆われていない部分を選択的にエッチングする。エッチングに際して、下地のMgドープInN再蒸発層6がエッチストップ層として機能する。このため、MgドープInN再蒸発層6の表面14が露出した時点で、エッチングをストップさせることが容易に再現性良く行える。エッチストップ層としての機能を十分に果たすためには、MgドープInN再蒸発層6の厚さは、約10Å以上は必要である。ただし、あまり厚くしすぎると、レーザ光の吸収が急増し、発光効率が悪化するという問題が生じるので、約100Åよりも薄くすることが好ましい。

【0031】上記エッチングは、例えば、ECR-RIBE（電子サイクロトロン共鳴を利用した反応性イオンビームエッチング）、RIBE、またはRIE（反応性イオンエッチング）によって、BCl₃/Ar又はCCl₄/F₂/Ar等のガスを用いて、MgドープInN再蒸発層6の表面が露出するまで行う。この後、フッ酸系エッチング液又は有機溶剤によってマスク12を除去する（図4(d)）。

【0032】2回目の結晶成長（再成長）のため、再び、基板1をMOCVD装置のサセプタ上にセットする。N₂およびNH₃雰囲気、基板温度約550℃で、MgドープInN層6の露出部分15を再蒸発させ、図4(e)に示すように、MgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層5の表面を露出させる。

【0033】本発明の重要な点は、再蒸発層6を蒸気圧の高いIn_{0.2}Ga_{0.8}N（0<2≤1）から構成している点にある。このため、再蒸発のために高温アニール（例えば、1000℃以上のアニール）は不要となり、約500～750℃程度と十分に低い基板温度で再蒸発が実現する。例えば、厚さ30ÅのInN層を再蒸発層として用いる場合、約550℃の温度ならば、約5分の熱処

理で下地を露出させることができる。

【0034】このような比較的低い温度では、下地の $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層の蒸発は生じないので、 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層の表面モフォロジーや結晶品質を劣化することはない。また、特別のエッチング液を用いることなく、単なる熱処理によって再蒸発層6の露出部分を選択的に除去できるので、下地表面などを汚染することもない。

【0035】更に、上記再蒸発工程はMOCVD装置内で簡単にいけるので、 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層の露出表面は大気による酸化等の影響を受けることなく、MOCVD装置内で良好な状態の清浄表面を維持する。

【0036】MOCVD装置内において、上記再蒸発工程にひきつづき、2回目の結晶成長を行う。より詳細には、基板温度を1000℃程度まで昇温した後、図4(f)に示すように、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.7~1μm程度)8およびMgドープGa N コンタクト層(厚さ0.5~1μm程度)9を成長させる。この再成長は、前述の良好な状態の清浄表面の上に行われるので、結晶性に優れた良好な再成長層が形成される。

【0037】基板1をMOCVD装置から取り出した後、 N_2 雰囲気中、800℃の熱アニーリングを行い、それによってMgドープ層をp型に変化させる。この後、図4(g)に示すように、p型Ga N コンタクト層9上にp側電極10を形成し、n型SiC基板1の裏面にn側電極11を形成する。

【0038】(実施例2)図2を参照しながら、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第2の実施例として、他の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を説明する。

【0039】図2は、本実施例の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の断面を模式的に示している。この半導体レーザ素子は、図2に示されるように、サファイア基板21と、基板21上に設けられた半導体積層構造200と、発光に必要な電流を供給するための一対の電極30および31とを備えている。

【0040】以下に、半導体積層構造200の構成を説明する。

【0041】この半導体積層構造200は、基板21に接する部分に、Ga N 又はAl N 又は $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ バッファ層(500Å~2μm程度)22aを有している。この第1のバッファ層22aの上には、基板1に近い側から順に、n型Ga N バッファ層(厚さ0.5~1μm程度)22b、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.7~1μm程度)23、ノンドープIn $_{0.1}Ga_{0.9}N$ 活性層(厚さ30~800Å)24、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.1~0.3μm程度)25、MgドープIn N 再蒸発層(厚さ30Å)26、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 内部電流狭窄層

(厚さ0.3~0.5μm)27、Mgドープp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.7~1μm程度)28、およびMgドープp型Ga N コンタクト層(厚さ0.5~1μm)29が形成されている。

【0042】n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 内部電流狭窄層27は、ノンドープIn $_{0.1}Ga_{0.9}N$ 活性層24の選択された領域(本実施例では、共振器長方向に延びるストライプ状の領域)に電流を狭窄するための開口部を持っている。このストライプ状開口部の幅は、レーザ発振の横モードを調整するように決定される。

【0043】前述の実施例1と同様に、MgドープIn N 再蒸発層26のうち、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 内部電流狭窄層27の開口部に対応する部分は製造工程中に蒸発している。このため、Mgドープp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層28の一部は、前記開口部を介して、Mgドープp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層25に接触している。

【0044】なお、Mgドープp型Ga N コンタクト層29の上にはp側電極30が形成され、n型Ga N バッファ層22bの一部露出部分上にn側電極31が形成されている。不図示の電流供給回路から電極30および31に電圧が与えられ、上記積層構造体の中をp側電極30からn側電極31へと電流が流れる。このとき、電流はn型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 内部電流狭窄層27によってブロックされるので、電流はn型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 内部電流狭窄層27の開口部を上から下へ流れる。

【0045】以下に、図5(a)~(g)を参照しながら、図2の半導体レーザ素子の製造方法を説明する。

【0046】実施例1で用いたMOCVD法と同様のMOCVD法によって、1回目の結晶成長を行うため、サファイア基板21をMOCVD装置のサセプタ上に配置した後、 N_2 または H_2 ガスの雰囲気中で、基板温度を1200℃程度まで昇温することによって、基板21の表面に対して清浄化処理を施す。

【0047】次に、基板21の温度を500℃~650℃程度まで降温し、Ga N 、Al N 、または $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ バッファ層22aを成長させる。基板温度を1000℃程度に昇温した後、バッファ層22a上にn型Ga N バッファ層(厚さ0.5~1μm程度)22b、およびn型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.7~1μm程度)23を成長させる。その後、基板温度を800~850℃程度に降温し、ノンドープIn $_{0.1}Ga_{0.9}N$ 活性層(厚さ30~800Å)24を成長させる。次に、基板温度を1000℃程度まで昇温し、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.1~0.3μm程度)25を成長させる。基板温度を800~850℃程度に降温した後、MgドープIn N 再蒸発層26を30Åの厚さに成長させる。次に、基板温度を1000℃程度まで昇温した後、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 内部電流狭窄層(厚さ0.3~0.5μm)27を成長させ

る。こうして、図5(a)に示す構造が得られる。

【0048】これらの半導体層の成長は、基板21をMOCVD装置の成長室から取り出すことなく連続的に行われる。

【0049】次に、一旦、上記半導体層の積層された基板21を成長室から取り出した後、通常のフォトリソグラフィ技術によって、図5(b)に示すようなマスク32をn型Al_{0.1}Ga_{0.9}N内部電流狭窄層27上に形成する。このマスク32は、SiO₂またはSiN_x(xは1から2程度の整数)、あるいはフォトレジストから形成される。マスク32は、ストライプ状の開口部33を有している。

【0050】次に、ドライエッチング技術によって、図5(c)に示されるように、n型Al_{0.1}Ga_{0.9}N内部電流狭窄層27のうち、マスク32で覆われていない部分を選択的にエッチングする。エッチングに際して、Mgドーピングn再蒸発層26はエッチストップ層として機能する。このため、Mgドーピングn再蒸発層26の表面34が露出した時点で、エッチングをストップさせることが容易に再現性よく行える。

【0051】上記エッチングは、例えば、ECR・RIE(電子サイクロトロン共鳴を利用した反応性イオンビームエッチング)、RIE、またはRIE(反応性イオンエッチング)によって、BCl₃/Ar又はCCl₄/F₂/Ar等のガスを用いて、Mgドーピングn再蒸発層26の表面が露出するまで行う。その後、フッ酸系エッチング液又は有機溶剤によってマスク32を除去する。

【0052】2回目の結晶成長(再成長)のため、再び、基板21をMOCVD装置のサセプタ上にセットする。N₂およびNH₃雰囲気中、基板温度約550℃で、Mgドーピングn層26の露出部分35を再蒸発させ、図5(d)に示すように、MgドーピングAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層25の表面を露出させる。

【0053】上記再蒸発工程に続いて、2回目の結晶成長を行う。基板温度を1000℃程度まで昇温した後、図5(e)に示すように、MgドーピングAl_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(厚さ0.7~1μm程度)28およびMgドーピングGa_{0.9}Nコンタクト層(厚さ0.5~1μm程度)29を成長させる。この再成長は、前述の良好な状態の清浄表面の上に行われるので、結晶性に優れた良好な再成長層が形成される。

【0054】基板21をMOCVD装置から取り出した後、N₂雰囲気中、800℃の熱アニーリングを行い、それによってMgドーピング層をp型に変化させる。この後、図5(f)に示すように、n型Ga_{0.9}Nバッファ層22bの一部が露出するまで、上記積層構造を部分的にエッチングする。

【0055】次に、図5(g)に示すように、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層29上にp側電極30を形成し、n型G

a_{0.9}Nバッファ層22bの一部露出部分上にn側電極31を形成する。

【0056】このように、本発明の製造方法によれば、比較的に低温の熱処理で容易に除去できる再蒸発層をエッチストップ層として用いるため、内部電流狭窄層の加工が再現性良く行うことができる。

【0057】(実施例3)図3を参照しながら、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第3の実施例として、さらに他の半導体レーザ素子を説明する。

【0058】図3は、本実施例の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の断面を模式的に示している。この半導体レーザ素子は、図3に示されるように、サファイア基板21と、基板21上に設けられた半導体積層構造300と、発光に必要な電流(駆動電流)を供給するための一対の電極30および31とを備えている。

【0059】以下に、半導体積層構造300の構成を説明する。

【0060】この半導体積層構造300は、基板21に接する部分に、Ga_{0.9}N又はAl_{0.9}N又はAl_{0.1}Ga_{0.9}Nバッファ層(厚さ500Å~2μm程度)22aを有している。この第1のバッファ層22aの上には、基板21に近い側から順番に、n型Ga_{0.9}Nバッファ層(厚さ0.5~1μm程度)22b、n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(厚さ0.7~1μm程度)23、ノンドーピングAl_{0.1}Ga_{0.9}N活性層(厚さ30~800Å)24、Mgドーピングp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(厚さ0.1~0.3μm程度)25、MgドーピングAl_{0.1}Ga_{0.9}N再蒸発層(厚さ100Å程度)36、n型Ga_{0.9}N内部電流狭窄層(厚さ0.3~0.5μm程度)37、Mgドーピングp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層28、およびMgドーピングp型Ga_{0.9}Nコンタクト層29が形成される。

【0061】なお、Mgドーピングp型Ga_{0.9}Nコンタクト層29の上面にはp側電極30が形成され、n型Ga_{0.9}Nバッファ層22bの一部露出部分上にn側電極31が形成されている。不図示の電流供給回路から電極30および31に電圧が与えられ、上記積層構造体の中をp側電極30からn側電極31へと電流が流れる。

【0062】本実施例において、Mgドーピングp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層25と、n型Ga_{0.9}N内部電流狭窄層37と、の間に形成されているMgドーピングAl_{0.1}Ga_{0.9}N再蒸発層36は、過飽和吸収体としても機能する。過飽和吸収体として機能するためには、MgドーピングAl_{0.1}Ga_{0.9}N再蒸発層36のInの混晶比mを、活性層24のInの混晶比と同一、またはそれより高く設定することが重要である。このような構成によると、自励発振を起こすレーザが得られ、低雑音の窒化ガリウム系化合物半導体レーザが得られる。

【0063】上記半導体レーザの製造は、例えば、上記実施例2で説明した方法を利用できる。以下に、図6

11

(a)～(g)を参照しながら、その製造方法を説明する。

【0064】まず、1回目の結晶成長を行うために、サファイア基板21をMOCVD装置のサセプタ上に配置した後、 N_2 または H_2 ガスの雰囲気中で、基板温度を1200℃程度まで昇温することによって、基板21の表面に対して清浄化処理を施す。

【0065】次に、基板21の温度を500℃～650℃程度まで降温し、 GaN 、 AlN 、または $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ バッファ層22aを成長させる。基板温度を1000℃程度に昇温した後、バッファ層22a上にn型 GaN バッファ層22b、およびn型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層23を成長させる。その後、基板温度を800～850℃程度に降温し、nドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 活性層24を成長させる。次に、基板温度を1000℃程度まで昇温し、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層25を成長させる。基板温度を800～850℃程度に降温した後、Mgドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 再蒸発層36を成長させる。次に、基板温度を1000℃程度まで昇温した後、n型 GaN 内部電流狭窄層37を成長させる。こうして、図6(a)に示す構造が得られる。

【0066】これらの半導体層の成長は、基板21をMOCVD装置の成長室から取り出すことなく連続的に行われる。

【0067】次に、一旦、上記半導体層の積層された基板21を成長室から取り出した後、通常のフォトリソグラフィ技術によって、図6(b)に示すようなマスク32をn型 GaN 内部電流狭窄層37上に形成する。このマスク32は、 SiO_2 または SiN_x (x は1から2程度の整数)、あるいはフォトレジストから形成される。マスク32は、ストライプ状の開口部33を有している。

【0068】次に、ドライエッチング技術によって、図6(c)に示されるように、n型 GaN 内部電流狭窄層37のうち、マスク32で覆われていない部分を選択的にエッチングする。エッチングに際して、Mgドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 再蒸発層36はエッチストップ層として機能する。このため、Mgドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 再蒸発層36の表面34が露出した時点で、エッチングをストップさせることが容易に再現性よく行える。

【0069】上記エッチングは、例えば、ECR・RIBE(電子サイクロトロン共鳴を利用した反応性イオンビームエッチング)、RIBE、またはRIE(反応性イオンエッチング)によって、 BCl_3/Ar 又は $CCl_4/F_2/Ar$ 等のガスを用いて、Mgドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 再蒸発層36の表面が露出するまで行う。その後、フッ酸系エッチング液又は有機溶剤によってマスク32を除去する。

12

【0070】2回目の結晶成長(再成長)のため、再び、基板21をMOCVD装置のサセプタ上にセットする。 N_2 および NH_3 雰囲気中で、基板温度約550℃で、Mgドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 再蒸発層36の露出部分35を再蒸発させ、図6(d)に示すように、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層25の表面を露出させる。

【0071】上記再蒸発工程に続いて、2回目の結晶成長を行う。基板温度を1000℃程度まで昇温した後、図6(e)に示すように、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層28およびMgドープ GaN コンタクト層29を成長させる。この再成長は、前述の良好な状態の清浄表面の上に行われるので、結晶性に優れた良好な再成長層が形成される。

【0072】基板21をMOCVD装置から取り出した後、 N_2 雰囲気中で、800℃の熱アニーリングを行い、それによってMgドープ層をp型に変化させる。その後、図6(f)に示すように、n型 GaN バッファ層22bの一部が露出するまで、上記積層構造を部分的にエッチングする。

【0073】次に、図6(g)に示すように、p型 GaN コンタクト層29上にp側電極30を形成し、n型 GaN バッファ層22bの一部露出部分上にn側電極31を形成する。

【0074】なお、上記何れの実施例でも、再蒸発層として、 InN 層を用いているが、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$)であれば、ほぼ同様の効果が得られる。ただし、再蒸発のしやすさを考慮した場合、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$)の In 組成 x の好ましい範囲は、0.5以上1.0以下である。また、エッチストップの機能を重視した場合、 In 組成 x の好ましい範囲は、0.5以上1.0以下となる。総合的に考えた場合、 In 組成 x の好ましい範囲は、0.32以上1.0以下となる。

【0075】

【発明の効果】本発明によれば、エッチストップ層として機能する再蒸発層を内部電流狭窄層の下に配置しているため、内部電流狭窄層の一部を選択的に除去する工程において、下地のクラッド層に損傷を与えることなく、再現性の良い形状制御が可能となる。特に、再蒸発層を蒸気圧の高い $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$)から形成することによって、エッチストップ層としての機能を果たし終えた後は、再蒸発層の露出部分を低い基板温度で再蒸発させ、それによって、再蒸発層の下に位置するクラッド層の表面を部分的に露出させることができる。このため、再蒸発層の下に位置するクラッド層の表面を、特別のエッチング液を用いることなく、制御性および再現性に優れた方法で露出させることができる。

【0076】また、再蒸発層の蒸発によってクラッド層の表面を露出させる工程は、MOCVD装置等の半導体薄膜成長装置内で行うことができるため、その工程に引

き続いて、再成長層の形成が行える。このため、クラッド層の露出表面は、大気による酸化等の影響を受けることがなく、洗浄で欠陥の無い状態に維持されるので、その上には良好な再成長層が形成される。

【0077】さらに、MgドープInGa_N再蒸発層は過飽和吸収体としても機能するため、低雑音の窒化ガリウム系化合物半導体レーザが得られる。

【0078】以上のように、本発明によれば、信頼性に優れた内部電流狭窄型の窒化ガリウム系半導体発光素子が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断面模式図

【図2】本発明による他の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断面模式図

【図3】本発明によるさらに他の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断面模式図

【図4】(a)から(g)は、図1の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法を示す工程断面図

【図5】(a)から(g)は、図2の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法を示す工程断面図

【図6】(a)から(g)は、図3の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法を示す工程断面図

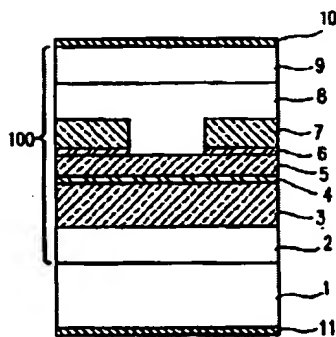
【図7】従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断*

* 面模式図

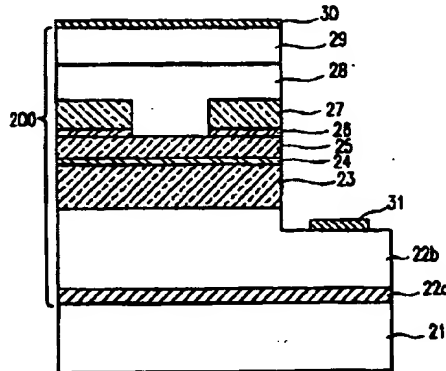
【符号の説明】

- 1 n型SiC基板
- 21 Sapphire基板
- 51 n型3C-SiC基板
- 22a GaN、AlN、AlGa_Nバッファ層
- 2、22b n型Ga_Nバッファ層
- 3、23 n型AlGa_Nクラッド層
- 4、24 ノンドープInGa_N活性層
- 54 Ga_N活性層
- 5、8、25、28 p型AlGa_Nクラッド層
- 6、26 p型In_N再蒸発層
- 36 p型InGa_N再蒸発層（過飽和吸収体）
- 7 n型Ga_N内部電流狭窄層
- 27 n型Al_{0.1}Ga_{0.9}N内部電流狭窄層
- 37 n型Ga_N内部電流狭窄層
- 9、29 p型Ga_Nコンタクト層
- 10、30 p側電極
- 11、31 n側電極
- 12、32 エッチングマスク
- 13、33 エッチングマスクの開口部
- 14、34 p型In_N再蒸発層の表面
- 15、35 p型In_N再蒸発層のうちの再蒸発する部分

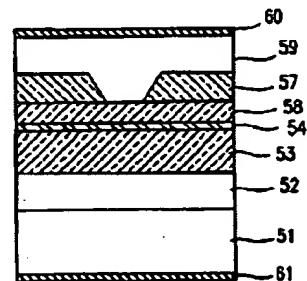
【図1】



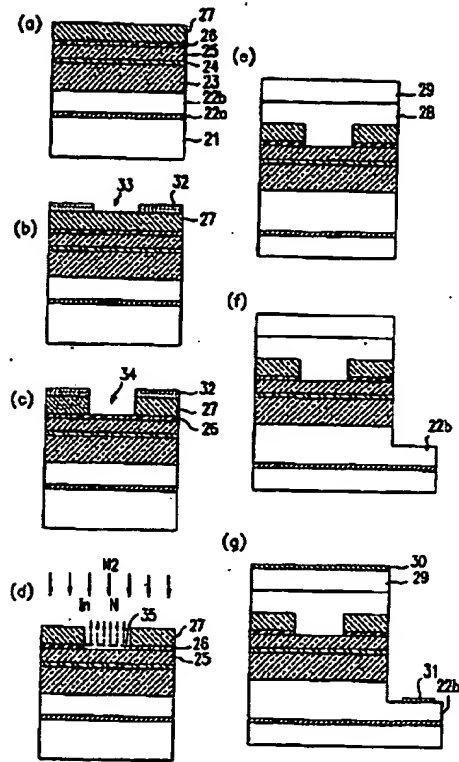
【図2】



【図7】



【図5】



【図6】

